

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2003236782  
PUBLICATION DATE : 26-08-03

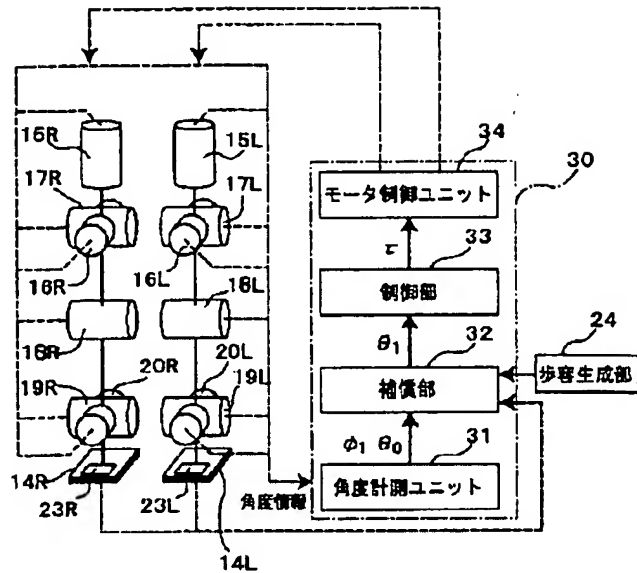
APPLICATION DATE : 18-02-02  
APPLICATION NUMBER : 2002040837

APPLICANT : JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY  
CORP;

INVENTOR : KITANO HIROAKI;

INT.CL. : B25J 5/00 B25J 13/08

TITLE : BIPEDAL MOVEMENT DEVICE AND  
WALKING CONTROL DEVICE FOR  
THE DEVICE



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a bipedal movement device capable of realizing a walking stability also in the unstable state of a road surface with complicated irregularities, and a walking control device for the device.

SOLUTION: This waling control device 30 for the bipedal movement device drivingly controlling the drive means of the articulate parts of the leg parts of the bipedal movement device based on gait pattern data comprises force detection parts 23L and 23R detecting forces applied to the soles of foot parts 14L and 14R and a compensation part 32 correcting the gait pattern data from a gait pattern generating part based on the forces detected by the force detection parts. The force detection parts 23L and 23R comprise at least three triaxial force sensors 36a, 36b, and 36c disposed on the soles of the foot parts 14L and 14R. The compensation part 32 corrects the gait pattern data based on detection signals from three triaxial force sensors 36a, 36b, and 36c detecting effective forces.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-236782

(P2003-236782A)

(43) 公開日 平成15年8月26日 (2003.8.26)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>B 2 5 J 5/00  
13/08

識別記号

F I

B 2 5 J 5/00  
13/08

ターミナル (参考)

F 3 C 0 0 7  
Z

審査請求 有 請求項の数14 ( ) L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2002-40837 (P2002-40837)

(22) 出願日 平成14年2月18日 (2002.2.18)

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72) 発明者 古田 貴之

東京都世田谷区上北沢3-32-6 エステ  
ージ上北沢303

(72) 発明者 田原 哲雄

東京都文京区本駒込6-23-16

(72) 発明者 奥村 悠

神奈川県藤沢市本鵠沼2-3-21

(74) 代理人 100082876

弁理士 平山 一幸 (外1名)

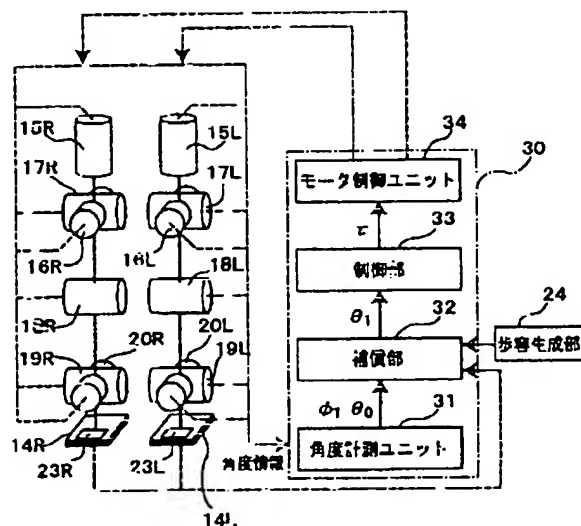
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 二脚歩行式移動装置及びその歩行制御装置

(57) 【要約】

【課題】 複雑な凹凸がある不安定な路面状況においても、歩行安定性を実現できるようにした二脚歩行式移動装置と、その歩行制御装置を提供する。

【解決手段】 歩容データに基づいて二脚歩行式移動装置の各脚部の各関節部の駆動手段を駆動制御する二脚歩行式移動装置の歩行制御装置30において、各足部14L、14Rにおける足裏に加わる力を検出する力検出部23L、23Rと、力検出部で検出された力に基づいて、歩容生成部からの歩容データを修正する補償部32とを含み、各力検出部23L、23Rが、各足部14L、14Rの足裏に配置された少なくとも三個の三軸力センサ36a、36b、36cから成り、補償部32が、有効な力を検出している三個の三軸力センサ36a、36b、36cの検出信号に基づいて歩容データの修正を行なうように、二脚歩行式移動装置の歩行制御装置30を構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部を有する二本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、要求動作に対応して、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データを生成する歩容生成部と、この歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御する歩行制御装置と、を備えた二脚歩行式移動装置において、

上記歩行制御装置が、各足部における足裏に加わる力を検出する力検出部と、上記力検出部で検出された力に基づいて、歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでおり、上記力検出部が、各足部の足裏に配置された少なくとも三個の三軸力センサから構成されており、上記補償部が、力検出部の各三軸力センサのうち、有効な力を検出している三個の三軸力センサの検出信号に基づいて、歩容データの修正を行なうことを特徴とする、二脚歩行式移動装置。

【請求項2】 前記本体が人型ロボットの上体であって、頭部及び両手を備えていることを特徴とする、請求項1に記載の二脚歩行式移動装置。

【請求項3】 各三軸力センサが、足裏から下方に突出していることを特徴とする、請求項1または2に記載の二脚歩行式移動装置。

【請求項4】 三個の三軸力センサが、各足部の足裏にて、二等辺三角形の各頂点位置に配置されていることを特徴とする、請求項1から3の何れかに記載の二脚歩行式移動装置。

【請求項5】 各三軸力センサが、各足部の足裏にて足部の垂直駆動軸を中心とする同一円周上に配置されていることを特徴とする、請求項1から4の何れかに記載の二脚歩行式移動装置。

【請求項6】 各足部が、脚部の下端に直接に取り付けられた足元部と、足元部の先端に上下に揺動可能に取り付けられた爪先としての足先部と、から構成されており、

力検出部の各三軸力センサが、足元部及び足先部に分散配置されていることを特徴とする、請求項1から5の何れかに記載の二脚歩行式移動装置。

【請求項7】 一つの三軸力センサが足元部の踵付近に配置され、また他の一つの三軸力センサが足先部の先端付近に配置され、さらに二つの三軸力センサが、足元部及び足先部の境界付近の領域にて左右に配置されていることを特徴とする、請求項6に記載の二脚歩行式移動装置。

【請求項8】 前記補償部が、自動キャリブレーションにより、各三軸力センサからの検出信号を自動的に校正することを特徴とする、請求項1から7の何れかに記載

の二脚歩行式移動装置。

【請求項9】 本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部分を有する二本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、から成る二脚歩行式移動装置に関して、要求動作に対応して歩容生成部により生成される、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御する、二脚歩行式移動装置の歩行制御装置において、

各足部における足裏に加わる力を検出する力検出部と、上記力検出部で検出された力に基づいて、歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでおり、上記力検出部が、各足部の足裏に配置された少なくとも三個の三軸力センサから構成されており、上記補償部が、力検出部の各三軸力センサのうち、有効な力を検出している三個の三軸力センサの検出信号に基づいて歩容データの修正を行なうことを特徴とする、二脚歩行式移動装置の歩行制御装置。

【請求項10】 各三軸力センサが足裏から下方に突出していることを特徴とする、請求項9に記載の二脚歩行式移動装置の歩行制御装置。

【請求項11】 三個の三軸力センサが、各足部の足裏にて二等辺三角形の各頂点位置に配置されていることを特徴とする、請求項9または10に記載の二脚歩行式移動装置歩行制御装置。

【請求項12】 各三軸力センサが、各足部の足裏にて足部の垂直駆動軸を中心とする同一円周上に配置されていることを特徴とする、請求項9から11の何れかに記載の二脚歩行式移動装置の歩行制御装置。

【請求項13】 各三軸力センサが、各足部の足裏にて、前後方向及び横方向に関して等分配置されていることを特徴とする、請求項9から12の何れかに記載の二脚歩行式移動装置の歩行制御装置。

【請求項14】 前記補償部が、自動キャリブレーションにより、各三軸力センサからの検出信号を自動的に校正することを特徴とする、請求項9から13の何れかに記載の二脚歩行式移動装置の歩行制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は二脚歩行式移動装置に関し、特に歩行安定化を実現するようにした歩行制御に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、所謂二脚歩行式ロボットは、前もって設定された歩行パターン（以下、歩容という）データを生成して、この歩容データに従って歩行制御を行なうて、所定の歩行パターンで脚部を動作させることにより二脚歩行を実現するようにしている。ところで、このような二脚歩行式ロボットは、例えば路面状況、ロボッ

ト自体の物理パラメータの誤差等によって、歩行の際の姿勢が不安定になりやすく、場合によっては転倒してしまう。

【0003】これに対して、歩容データを前もって設定せずに、リアルタイムにロボットの歩行状態を認識しながら歩行制御を行なうようにすれば、歩行の際の姿勢を安定させて歩行を行なわせることも可能であるが、このような場合でも、予期しない路面状況等が発生した場合には、歩行姿勢が崩れてロボットが転倒してしまうことになる。

【0004】このため、歩行制御によってロボットの足裏における床反力と重力の合成モーメントがゼロとなる点（以下、ZMP（Zero Moment Point）という）を目標値に収束させる、所謂ZMP補償を行なう必要がある。このようなZMP補償のための制御方法としては、例えば特開平5-305583号公報に示すように、コンプライアンス制御を利用して、ZMPを目標値に収束させ、ロボットの上体を加速させて修正する方法や、ロボットの足の接地場所を修正する制御方法が知られている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、このような制御方法においては、ZMP規範により、ロボットの安定化を図るようにしている。そして、このZMP規範においては、足裏における床反力を正確に検出することが前提条件となっている。

【0006】しかしながら、このような構成の二脚歩行式ロボットにおいては、複雑な凹凸がある不安定な路面状況においては、足裏全体が路面に着地しなくなることがあり、足裏における床反力を正確に検出することができず、従ってZMPの補償を正確に行なうことができなくなることがある。このため、ロボットの安定性を確保することができず、ロボットの二脚歩行が困難になってしまう。

【0007】本発明は、以上の点にかんがみて、複雑な凹凸がある不安定な路面状況においても、足裏における床反力を正確に検出して、歩行安定性を実現できるようにした二脚歩行式移動装置と、その歩行制御装置を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的は、この発明の第一の構成によれば、本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部を有する二本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、要求動作に対応して目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データを生成する歩容生成部と、この歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御する歩行制御装置とを備えた二脚歩行式移動装置において、上記歩行制御装置が、各足部における足裏に加

わる力を検出する力検出部と、上記力検出部で検出された力に基づいて歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでおり、上記力検出部が、各足部の足裏に配置された少なくとも三個の三軸力センサから構成されており、上記補償部が、力検出部の各三軸力センサのうち、有効な力を検出している三個の三軸力センサの検出信号に基づいて歩容データの修正を行なう二脚歩行式移動装置により、達成される。

【0009】本発明による二脚歩行式移動装置は、好ましくは、上記本体が人型ロボットの本体であって、頭部及び両手部を備えている。

【0010】本発明による二脚歩行式移動装置は、好ましくは、各三軸力センサが足裏から下方へ突出している。

【0011】本発明による二脚歩行式移動装置は、好ましくは、三個の三軸力センサが、各足部の足裏にて二等辺三角形の各頂点位置に配置されている。

【0012】本発明による二脚歩行式移動装置は、好ましくは、各三軸力センサが、各足部の足裏にて足部の垂直駆動軸を中心とする同一円周上に配置されている。

【0013】本発明による二脚歩行式移動装置は、好ましくは、各足部が、脚部の下端に直接に取り付けられた足元部と、足元部の先端に上下に揺動可能に取り付けられた爪先としての足先部と、から構成されており、力検出部の各三軸力センサが足元部及び足先部に分散配置されている。

【0014】本発明による二脚歩行式移動装置は、好ましくは、一つの三軸力センサが足元部の踵付近に配置され、また他の一つの三軸力センサが足先部の先端付近に配置され、さらに二つの三軸力センサが、足元部及び足先部の境界付近の領域にて左右に配置されている。

【0015】本発明による二脚歩行式移動装置は、好ましくは、前記補償部が、自動キャリブレーションにより各三軸力センサからの検出信号を自動的に較正する。

【0016】また、上記目的は、この発明の第二の構成によれば、本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部分を有する二本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段とから成る二脚歩行式移動装置に関して、要求動作に対応して歩容生成部により生成される目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御する二脚歩行式移動装置の歩行制御装置において、各足部における足裏に加わる力を検出する力検出部と、上記力検出部で検出された力に基づいて歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでおり、上記力検出部が、各足部の足裏に配置された少なくとも三個の三軸力センサから構成されており、上記補償部が、力検出部の各三軸力センサのうち、有効な力を検出している三個の三軸力センサの検出信号に基づ

いて歩容データの修正を行なう二脚歩行式移動装置の歩行制御装置により、達成される。

【0017】本発明による二脚歩行式移動装置の歩行制御装置は、好ましくは、各三軸力センサが足裏から下方へ突出している。

【0018】本発明による二脚歩行式移動装置の歩行制御装置は、好ましくは、三個の三軸力センサが、各足部の足裏にて二等辺三角形の各頂点位置に配置されている。

【0019】本発明による二脚歩行式移動装置の歩行制御装置は、好ましくは、各三軸力センサが、各足部の足裏にて足部の垂直駆動軸を中心とする同一円周上に配置されている。

【0020】本発明による二脚歩行式移動装置の歩行制御装置は、好ましくは、上記補償部が、自動キャリブレーションにより各三軸力センサからの検出信号を自動的に較正する。

【0021】上記構成によれば、各足部の足裏に設けられた少なくとも三個の三軸力センサから成る力検出部により検出した力に基づいて、補償部により歩容生成部からの歩容データを修正して駆動手段を駆動制御する。その際、複雑な凹凸を備えた路面に足部が着地しているときでも、好ましくは足裏から下方に突出している三個の三軸力センサが確実に路面に接している。従って、不安定な路面であっても有効な力を検出している三個の三軸力センサの検出信号に基づいて、歩容データを確実に修正することにより、本体、好ましくは人型ロボットの上体の安定化を図るようになっていく。これにより、ロボットの各足部の足裏が、複雑な凹凸を備えた不安定な路面状況であっても、ロボットの安定性を確保することができ、確実に歩行制御を行なうことが可能である。

【0022】三個の三軸力センサが、各足部の足裏にて、二等辺三角形の各頂点位置に配置されている場合には、二等辺三角形の底辺の両端の頂点に位置する三軸力センサが左右対称の条件となるので、各三軸力センサにかかる負荷荷重を左右均等に分散することができると共に、各三軸力センサのキャリブレーションを容易に行なうことができる。

【0023】各三軸力センサが、各足部の足裏にて、足部の垂直駆動軸を中心とする同一円周上に配置されている場合には、当該垂直駆動軸周りのトルクが同一条件となるので、このトルクに関する負荷を各三軸力センサに均等に分散することができると共に、各三軸力センサのトルクに関するキャリブレーションを容易に行なうことができる。

【0024】各足部が、脚部の下端に直接に取り付けられた足元部と、足元部の先端に上下に揺動可能に取り付けられた爪先としての足先部と、から構成されており、力検出部の各三軸力センサが、足元部及び足先部に分散配置されている場合には、足元部のみまたは足先部のみ

が着地しているときでも、力検出部の各三軸力センサが足裏における床反力を検出することができる。

【0025】一つの三軸力センサが足元部の踵付近に配置され、また他の一つの三軸力センサが足先部の先端付近に配置され、さらに二つの三軸力センサが、足元部及び足先部の境界付近の領域にて左右に配置されている場合には、足元部のみまたは足先部のみが着地しているときでも、力検出部の三個の三軸力センサが着地することになり、足裏における床反力を確実に検出することができる。

【0026】上記補償部が、自動キャリブレーションにより、各三軸力センサからの検出信号を自動的に較正する場合には、力検出部の個々の三軸力センサが周囲の温度や経年変化によって検出精度が変化したとしても、自動キャリブレーションによって自動較正されることにより、力検出部の各三軸力センサからの検出信号により正確に床反力を検出することができる。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、図面に示した実施形態に基づいて、この発明を詳細に説明する。図1乃至図2は、この発明による二脚歩行式移動装置を適用した二脚歩行式ロボットの一実施形態の構成を示している。図1において、二脚歩行式ロボット10は、本体である上体11と、上体11の下部両側に取り付けられた中間に膝部12L、12Rを備えた二本の脚部13L、13Rと、各脚部13L、13Rの下端に取り付けられた足部14L、14Rと、を含んでいる。

【0028】ここで、上記脚部13L、13Rは、それぞれ六個の関節部、即ち上方から順に、上体11に対する腰の脚部回旋用（ $z$ 軸周り）の関節部15L、15R、腰のロール方向（ $x$ 軸周り）の関節部16L、16R、腰のピッチ方向（ $y$ 軸周り）の関節部17L、17R、膝部12L、12Rのピッチ方向の関節部18L、18R、足部14L、14Rに対する足首部のピッチ方向の関節部19L、19R、足首部のロール方向の関節部20L、20Rを備えている。なお、各関節部15L、15R乃至20L、20Rは、それぞれ関節駆動用モータにより構成されている。

【0029】このようにして、腰関節は、上記関節部15L、15R、16L、16R、17L、17Rから構成され、また足関節は、関節部19L、19R、20L、20Rから構成されることになる。さらに、腰関節と膝関節との間は、大腿リンク21L、21Rにより連結されており、また膝関節と足関節との間は、下腿リンク22L、22Rにより連結されている。これにより、二脚歩行式ロボット10の左右両側の脚部13L、13R及び足部14L、14Rは、それぞれ6自由度を与えられることになり、歩行中にこれらの12個の関節部をそれぞれ駆動モータにより適宜の角度に駆動制御することにより、脚部13L、13R、足部14L、14R全

体に所望の動作を与えて、任意に三次元空間を歩行することができるように構成されている。

【0030】さらに、上記足部14L、14Rは、足裏（下面）に、力検出部23L、23Rを備えている。この力検出部23L、23Rは、後述するようにそれぞれ各足部14L、14Rにおける力、特に水平床反力Fを検出するようになっている。

【0031】なお、上記上体11は、図示の場合、単に箱状に示されているが、実際には頭部や両手を備えていてもよい。

【0032】図2は、図1に示した二脚歩行式ロボット10の電気的構成を示している。図2において、二脚歩行式ロボット10は、要求動作に対応して歩容データを生成する歩容生成部24と、この歩容データに基づいて駆動手段、即ち上述した各関節部即ち関節駆動用モータ15L、15R乃至20L、20Rを駆動制御する歩行制御装置30と、を備えている。なお、二脚歩行式ロボット10の座標系として、前後方向をx方向（前方+）、横方向をy方向（内方+）そして上下方向をz方向（上方+）とするxyz座標系を使用する。

【0033】上記歩容生成部24は、外部から入力される要求動作に対応して、二脚歩行式ロボット10の歩行に必要な各関節部15L、15R乃至20L、20Rの目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データを生成する。

【0034】上記歩行制御装置30は、角度計測ユニット31と、補償部32と、制御部33と、モータ制御ユニット34と、から構成されている。上記角度計測ユニット31は、各関節部15L、15R乃至20L、20Rの関節駆動用モータに備えられた例えばロータリエンコーダ等により各関節駆動用モータの角度情報が入力されることにより、各関節駆動用モータの角度位置、即ち角度及び角速度に関する状態ベクトル $\theta$ を計測して、補償部32に出力するようになっている。

【0035】上記補償部32は、力検出部23L、23Rからの検出力に基づいて、水平床反力Fを演算して、この水平床反力F及び角度計測ユニット31からの状態ベクトル $\theta$ に基づいて、歩容生成部24からの歩容データを修正し、ベクトル $\theta_i$ （ $i=1$ から $n$ 、ただし、 $n$ はロボット10の歩行に関する自由度）を制御部33に出力するようになっている。

【0036】上記制御部33は、補償部32で修正された歩容データであるベクトル $\theta_i$ から、ロボットの各関節部における角度ベクトル $\theta_0$ を演算して、ベクトル $(\theta_i - \theta_0)$ に基づいて、各関節駆動用モータの制御信号、即ちトルクベクトル $\tau$ を生成するようになっている。上記モータ制御ユニット34は、制御部33からの制御信号（トルクベクトル $\tau$ ）に従って各関節駆動用モータを駆動制御するようになっている。

【0037】ここで、上記力検出部23L、23Rは左

右対称の構成であるから、力検出部23Lについて、図3を参照して説明する。図3において、力検出部23Lは、足部14Lの下面である足裏板35の下側にて、前縁両側及び後縁中央に配置された三個の三軸力センサ36a、36b、36cから構成されている。

【0038】各三軸力センサ36a、36b、36cは互いに同じ構成であり、図3（A）及び（B）に示すように、足裏から下方に突出するように構成されている。さらに、各三軸力センサ36a、36b、36cは、図4に示すように、足部の足裏にて、後縁が尖った二等辺三角形の各頂点に配置されるようになっている。

【0039】各三軸力センサ36a乃至36cは、個々の検出力のバラツキがあると共に、周囲の温度、経年変化等によって検出力が変動する。従って、各三軸力センサ36a乃至36cの検出力は、以下のような自動キャリブレーションにより、補償部32内にて自動的に較正されるようになっている。

【0040】先ず、Z軸方向のキャリブレーションについて説明する。図5（A）において、足裏にて、力計測の原点O（ $O_x$ 、 $O_y$ ）に対して、 $n$ 個の三軸力センサS1、S2、S3、 $\dots$ 、Snが配置されている。尚、力計測の原点Oは、例えば足部の関節の駆動座標系に一致させることが好ましい。ここで、各三軸力センサSiの位置を、 $S_i = (X(i), Y(i))$ として、上述したように分散配置された三軸力センサS1乃至Snのうち、任意の三個の三軸力センサ、例えばS1、S2、S3を選択し、これらの座標位置を、それぞれ、 $S1 = X(1), Y(1), Z(1)$ 、 $S2 = X(2), Y(2), Z(2)$ 、 $S3 = X(3), Y(3), Z(3)$ とする。

【0041】そして、これらの三軸力センサS1乃至S3のみに負荷がかかるように、三点支持の状態にして、図5（B）に示すように、これらのうち、適宜の二つの三軸力センサ、例えばS1及びS2を直線で結び、この直線に対する残りの一個の三軸力センサS3からの垂線の足をCとする。ここで、上記垂線上にて駆動対象の重心位置をS3からCへ静的に移動させて、そのときのS1乃至S3から出力される電圧値を計測する。その際、移動中の計測ポイントが多いほど、正確な較正を行なうことができる。

【0042】 $f$ を計測した力、 $A$ 、 $B$ をキャリブレーションパラメータ、 $V$ をそのときの電圧値とし、 $M$ を駆動対象の全質量、 $g$ を重力の加速度とし、 $k$ を計測ポイントとすると、以下の関係式

【数1】

$$\begin{cases} f_{z(1)k} = A_1 V_{z(1)k} + B_1 \\ f_{z(2)k} = A_2 V_{z(2)k} + B_2 \\ f_{z(3)k} = A_3 V_{z(3)k} + B_3 \end{cases}$$

【数2】

$$f_{z(1)k} + f_{z(2)k} + f_{z(3)k} = Mg$$

【数3】

$$f_{z(1)k} = f_{z(2)k}$$

【数4】

$$\begin{cases} f_{x(1)k} \cdot X(1) + f_{x(2)k} \cdot X(2) + f_{x(3)k} \cdot X(3) = 0 \\ f_{y(1)k} \cdot Y(1) + f_{y(2)k} \cdot Y(2) + f_{y(3)k} \cdot Y(3) = 0 \end{cases}$$

が成立する。

【0043】そして、V、M、Yを既知として、これらの式をfの連立方程式として解いて、その結果を、以下の式

【数5】

$$\begin{bmatrix} \sum_{k=0}^n 0^1 & \sum_{k=0}^n V_{x(i)k} \\ \sum_{k=0}^n V_{x(i)k} & \sum_{k=0}^n V_{x(i)k}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_x(i) \\ A_x(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=0}^n f_{x(i)k} \\ \sum_{k=0}^n V_{x(i)k} f_{x(i)k} \end{bmatrix}$$

に代入することにより、求めるF、V直線の傾きA及び切片Bを同時に求めることができる。さらに、n回の計測を行なうことにより、較正のための補正パラメータを算出することができる。

【0044】このようにして、上記三つの三軸力センサS1乃至S3に関するZ軸方向のキャリブレーションが終了する。そして、他の異なる三つの三軸力センサを選択して、同様にして補正パラメータの算出を繰り返して、すべての三軸力センサについて補正パラメータの算出を行なうことにより、すべての三軸力センサのZ軸方向の較正を行なうことができる。

【0045】さらに、XY軸に関するキャリブレーションの方法について説明する。先ず、図5(C)に示すように、分散配置された三軸力センサS1乃至Snのうち、任意の二個の三軸力センサ、例えばS1、S2を選択し、ロボットの upper 11または反対側の脚部 13 Lま

$$\begin{bmatrix} \sum_{k=0}^n 0^1 & \sum_{k=0}^n V_{x(i)k} \\ \sum_{k=0}^n V_{x(i)k} & \sum_{k=0}^n V_{x(i)k}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_x(i) \\ A_x(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=0}^n f_{x(i)k} \\ \sum_{k=0}^n V_{x(i)k} f_{x(i)k} \end{bmatrix}$$

【数10】

$$\begin{bmatrix} \sum 1 & \sum V_{y(i)k} \\ \sum V_{y(i)k} & \sum V_{y(i)k}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_y(i) \\ A_y(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=0}^n f_{y(i)k} \\ \sum_{k=0}^n V_{y(i)k} f_{y(i)k} \end{bmatrix}$$

が得られ、補正パラメータA、Bを算出することができる。このようにして、X軸方向及びY方向の補正パラメータA、Bを同時に算出して、XY軸方向のキャリブレーションを行なうことが可能である。

【0047】ところで、上述したキャリブレーションは、各三軸力センサ36a乃至36cがそれぞれ図4に示すような二等辺三角形の頂点に配置されている場合、三角形の前側の底辺の両端に位置する三軸力センサ36a、36bは、左右対称の配置となることから、キャリ

ブレーションは13Rを利用して、Z軸周りのモーメントmを発生させる。このとき、モーメントmと三軸力センサS1、S2にかかる力F1、F2は、F1=F2となり、以下の式

【数6】

$$m = F1 \cdot \sqrt{(X(1) - X(2))^2 + (Y(1) - Y(2))^2}$$

により表わされる。従って、個々の三軸力センサS1、S2にかかる力F1、F2が計算され、それぞれのX成分、Y成分は、以下の式

【数7】

$$\begin{cases} f_{x(1)} = F1 \cdot \cos \theta \\ f_{y(1)} = F1 \cdot \sin \theta \\ f_{x(2)} = F2 \cdot \cos \theta \\ f_{y(2)} = F2 \cdot \sin \theta \end{cases}$$

ここで

$$\theta = a \tan \left( \frac{X(2) - X(1)}{Y(2) - Y(1)} \right)$$

により表わされる。

【0046】これに対して、各三軸力センサS1、S2から出力される電圧Vと力fx、fyの関係は、計測回数をkとすると、以下の式

【数8】

$$\begin{cases} f_{x(1)k} = A_{x(1)} V_{x(1)k} + B_{x(1)} \\ f_{x(2)k} = A_{x(2)} V_{x(2)k} + B_{x(2)} \\ f_{y(1)k} = A_{y(1)} V_{y(1)k} + B_{y(1)} \\ f_{y(2)k} = A_{y(2)} V_{y(2)k} + B_{y(2)} \end{cases}$$

により表わされる。これらの式を連立させて、n回の計測を行なうと、以下の行列式

【数9】

$$\begin{bmatrix} \sum_{k=0}^n 0^1 & \sum_{k=0}^n V_{x(i)k} \\ \sum_{k=0}^n V_{x(i)k} & \sum_{k=0}^n V_{x(i)k}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_x(i) \\ A_x(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=0}^n f_{x(i)k} \\ \sum_{k=0}^n V_{x(i)k} f_{x(i)k} \end{bmatrix}$$

による補正パラメータが同一値となる。従って、キャリブレーションを容易に行なうことができる。

【0048】本発明実施形態による二脚歩行式ロボット10は以上のように構成されており、歩行動作は、図6に示すフローチャートにより以下に行なわれる。図6において、先ずステップST1にて、歩容生成部24が、入力された要求動作(J=J)に基づいて歩容データを生成し、歩行制御装置30の補償部32へ出力する。そして、ステップST2にて、双方の足部14L、14Rに備えられた力検出部23L、23Rがそれぞれ力を検出して、補償部32へ出力する。また、ステップST3にて、角度計測ユニット31が各関節部16L、

16R乃至20L、20Rの状態ベクトル $\theta_i$ を計測して、補償部32へ出力する。

【0049】これにより、ステップST4にて、補償部32が力検出部23L、23Rからの検出出力に基づいて水平床反力Fを演算する。そして、ステップST5にて、補償部32がこの水平床反力F及び角度計測ユニット31からの各関節部16L、16R乃至20L、20Rの状態ベクトル $\theta_i$ に基づいて歩容データを修正し、ベクトル $\theta_i$ を制御部33へ出力する。

【0050】次に、ステップST6にて、制御部33はベクトル $\theta_i$ からロボット10の各関節部における角度ベクトル $\theta_0$ を減算して、ベクトル $(\theta_i - \theta_0)$ に基づいて、各関節駆動用モータの制御信号、即ちトルクベクトル $\tau$ を生成し、モータ制御ユニット34へ出力する。そして、ステップST7にて、モータ制御ユニット34が、このトルクベクトル $\tau$ に基づいて各関節部の関節駆動用モータを駆動制御する。これにより、二脚歩行式ロボット10は、要求動作に対応して歩行動作を行なうことになる。

【0051】その後、ステップST8にて、制御部33が動作カウンタインクリメントにより、 $J = J + 1$ として、所定のサンプリング時間になるまで待機した後、ステップST9にて、上記Jが前以て決められた動作終了カウント以下の場合には、再びステップ2に戻って、上記動作を繰り返す。そして、ステップST9にて、上記Jが動作終了カウントを超えた場合には、動作を終了する。

【0052】この場合、二脚歩行式ロボット10において、各関節駆動用モータの駆動制御の際に、歩容データが、補償部32にて、各足部14L、14Rの足裏に設けられた力検出部23L、23Rの各三軸力センサ36a、36b、36cからの検出信号による水平床反力Fに基づいて修正され、ベクトル $\theta_i$ が生成されることにより、この水平床反力Fを規範として、ロボット10の安定性を得るようになっていく。これにより、ロボット10の各足部14L、14Rが、例えば足裏が複雑な凹凸を備えた不安定な路面に着地したとしても、足裏に設けられた力検出部23L、23Rの各三軸力センサ36a、36b、36cが確実に着地して水平床反力Fを検出することができるので、要求動作に対する歩行動作を確実に行なうことが可能となる。

【0053】図7乃至図8は、それぞれ上述した力検出部23L、23Rの各三軸力センサの他の構成例を示している。先ず、図7においては、各三軸力センサ36a、36b、36cは、正三角形の頂点に配置されている。このような三軸力センサ36a、36b、36cの配置によれば、図4による三軸力センサ36a乃至36cと同様に作用すると共に、各三軸力センサ36a、36b、36cに対する負荷荷重が均等に分散されるので、各三軸力センサ36a、36b、36cの負荷が軽

減される。

【0054】図8においては、各三軸力センサ36a、36b、36cは、図4の場合と同様に二等辺三角形の頂点に配置されていると共に、足部14L、14Rの脚部13L、13Rに対する垂直駆動軸Oを中心とする同一円周上に配置されている。このような三軸力センサ36a、36b、36cの配置によれば、図4による三軸力センサ36a乃至36cと同様に作用すると共に、上記垂直駆動軸Oの周りのトルク較正を容易に行なうことができる。

【0055】図9乃至図11は、それぞれ上述した力検出部23L、23Rの各三軸力センサのさらに他の構成例を示しており、これらの構成例においては、各足部14L、14Rが、それぞれ脚部13L、13Rに直接に取り付けられる足元部14La、14Raと、各足元部14La、14Raに対して上下方向に揺動可能に取り付けられた爪先としての足先部14Lb、14Rbと、から構成されている。なお、足先部14Lb、14Rbは、他の関節部と同様にして駆動手段により足元部14La、14Raに対して能動的に揺動されてもよく、また受動的に揺動されるようにしてもよい。

【0056】そして、図9においては、足先部14Lb、14Rbが、その先端の内側に偏った位置に、一つの三軸力センサ36dを、また後端の両端付近の位置に、それぞれ三軸力センサ36e、36fを、それぞれ備えていると共に、足元部14La、14Raが、その後端の踵部に一つの三軸力センサ36gを備えている。これに対して、補償部32は、力検出部23L、23Rの各三軸力センサ36d乃至36gの検出信号に基づいて、例えばより大きな力を検出している三軸力センサを選択して、有効な力を検出している三個の三軸力センサ36d乃至36gによる水平床反力に基づいて、歩容データの修正を行なうようになっている。

【0057】このような三軸力センサ36d、36e、36f、36gの配置によれば、足部14L、14Rの足元部14La、14Raが路面に着地している場合には、図9(A)に示すように、足先部14Lb、14Rbの後端に備えられた二つの三軸力センサ36e、36fと足元部14La、14Raの後端に備えられた一つの三軸力センサ36gの三つの三軸力センサ36e、36f、36gが床面に接地して、図9(B)にて斜線で示すように負荷荷重を受け、床面から水平床反力が加えられることになる。従って、補償部32は、上述した三つの三軸力センサ36e、36f、36gの検出信号に基づいて水平床反力を演算して、歩容データの修正を行なう。

【0058】これに対して、歩行姿勢の変化により、足部14L、14Rの足先部14Lb、14Rbのみが路面に着地している場合には、図10(A)に示すように、足先部14Lb、14Rbの先端及び後端に備えら



れた三つの三軸力センサ36d、36e、36fが床面に接地して、図10(B)にて斜線で示すように負荷荷重を受け、床面から水平床反力が加えられることになる。

【0059】従って、補償部32は、上述した三つの三軸力センサ36d、36e、36fの検出信号に基づいて水平床反力を演算して、歩容データの修正を行なう。このようにして、歩行姿勢の変化により、足部14L、14Rの床面への接地状態が変化しても、三つの三軸力センサ36e、36f、36gまたは36d、36e、36fが床面から水平床反力を受けて有効な力を検出するので、補償部32が正確に歩容データの修正を行なうことができる。

【0060】図11においては、各三軸力センサ36d乃至36gは、図9の場合と比較して、足先部14Lb、14Rbの後端の両側に備えられた三軸力センサ36e、36fの代わりに、足元部14La、14Raの先端の両側にそれぞれ三軸力センサ36h、36iが備えられていると共に、足先部14Lb、14Rbの先端の三軸力センサ36dが左右方向に関してほぼ中央に配置されている。これにより、三軸力センサ36h、36iは、三軸力センサ36dまたは36gに対して、それぞれ二等辺三角形の頂点に配置されることになる。

【0061】このような三軸力センサ36d、36h、36i、36gの配置によれば、図9による三軸力センサ36d乃至36gと同様に作用すると共に、中間の三軸力センサ36h、36iのキャリブレーションを容易に行なうことができ、さらに中間の三軸力センサ36h、36iが足先部14Lb、14Rbより大きい足元部14La、14Raに取り付けられることにより、より強固に足部14L、14Rに取り付けられることになる。

【0062】なお、図11においては、中間の三軸力センサ36h、36iはそれぞれ足元部14La、14Raの先端の両側に備えられているが、これに限らず、図11に示すように、足元部14La、14Raと足先部14Lb、14Rbの連結領域に備えられていてもよい。

【0063】このようにして、本発明実施形態による二脚歩行式ロボット10によれば、各足部14L、14Rの足裏に設けられた力検出部23L、23Rの各三軸力センサ36a乃至36cまたは36d乃至36gあるいは36d、36h、36i、及び36gが複雑な凹凸を備えた路面に対しても確実に着地することになる。従って、各三軸力センサからの検出信号から演算される水平床反力Fに基づいて、歩容データを修正することにより、足の床面との摩擦力により生ずる水平床反力Fを規範として歩行制御を行ない、複雑な凹凸を備えた不安定な路面状況においても、ロボット10の歩行安定化を実現することができる。

【0064】上述した実施形態においては、例えば図4、図7、図8、図9及び図11にて、三軸力センサは左右対称に配置されているが、これに限らず、不等辺三角形の頂点に配置されていてもよいことは明らかである。また、上述した実施形態においては、三軸力センサは、それぞれ足裏を構成する一枚板の下面に取り付けられているが、これに限らず、三軸力センサの下方にも板材が取り付けられることにより、二枚板の間に三軸力センサが介挿されるように構成されてもよい。この場合、三軸力センサが圧縮力だけでなく引張り力も検出することができることになる。なお、このようなセンサ構造の場合、例えば各三軸力センサが、足裏にて前後方向及び左右方向に関してそれぞれ等分位置に配置されていると、力増幅、キャリブレーションを容易に行なうことができると共に、最も効率よくセンサを活用することができる。

【0065】また、上述した実施形態においては、例えば図4、図7、図8にて、力検出部23L、23Rは、それぞれ三個の三軸力センサ36a、36b及び36cを備えており、また図9及び図11においては、力検出部23L、23Rは、歩行姿勢の変化に伴って、常に三個の三軸力センサ36d、36e(36h)、36f(36i)または36e(36h)、36f(36i)、36gが床面に着地するようになっているが、これに限らず、それぞれ三個以上の三軸力センサが設けられていてもよい。例えば図4にて鎖線で示すように、中間領域に二個の三軸力センサ36j、36kを備えていてもよい。この場合、補償部32は各三軸力センサ36a、36b、36c、36j、36kの検出信号を比較して、より大きな力を検出している三個の三軸力センサを選択して、選択した三個の三軸力センサの検出信号から水平床反力を演算するようにすればよい。

【0066】さらに、上述した実施形態においては、補償部32は、力検出部23L、23Rの各三軸力センサからの検出信号に基づいて、水平床反力を規範として歩容データの修正を行なうようになっているが、これに限らず、従来と同様に力検出部23L、23Rの各三軸力センサからの検出信号に基づいてZMP規範で歩容データの修正を行なうようにしてもよいことは明らかである。

【0067】さらに、上述した実施形態においては、本発明を二脚歩行式ロボットに適用した場合について説明したが、これに限らず、他の各種機器を二本足で支持すると共に、この二本足で歩行するようにした、二脚歩行式移動装置に対して本発明を適用し得ることは明らかである。

【0068】

【発明の効果】以上述べたように、この発明によれば、各足部の足裏に設けられた少なくとも三個の三軸力センサから成る力検出部による検出信号に基づいて、補償部

により歩容生成部からの歩容データを修正して駆動手段を駆動制御する。その際、複雑な凹凸を備えた路面に足部が着地しているときでも、好ましくは足裏から下方に突出している各三軸力センサが確実に路面に接しており、有効な力を検出している三個の三軸力センサの検出信号により水平床反力を検出することができる。従って、不安定な路面であっても有効な力を検出している三個の三軸力センサによる水平床反力に基づいて、歩容データを確実に修正することにより、本体、好ましくは人型ロボットの上体の安定化を図るようになってい。これにより、ロボットの各足部の足裏が、複雑な凹凸を備えた不安定な路面状況であっても、ロボットの安定性を確保することができ、確実に歩行制御を行なうことが可能である。このようにして、本発明によれば、複雑な凹凸がある不安定な路面状況においても、足裏における床反力を正確に検出して、歩行安定性を実現できるようにした、極めて優れた二脚歩行式移動装置及びその歩行制御装置が提供される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明による二脚歩行式ロボットの一実施形態の機械的構成を示す概略図である。

【図2】図1の二脚歩行式ロボットの電氣的構成を示すブロック図である。

【図3】図1の二脚歩行式ロボットの各足部の足裏に設けられた三軸力センサの構成を示し、(A)は斜め上方から見た概略斜視図、(B)は斜め下方から見た概略斜視図である。

【図4】図3の三軸力センサの配置を示す足裏の平面図である。

【図5】図5の各三軸力センサと力計測の基点の配置を示すグラフである。

【図6】図1の二脚歩行式ロボットの歩行制御動作を示すフローチャートである。

【図7】図3(C)の三軸力センサの配置の第一の変形例を示す足裏の平面図である。

【図8】図3(C)の三軸力センサの配置の第二の変形例を示す足裏の平面図である。

【図9】図3(C)の三軸力センサの配置の第三の変形例を示し、(A)は足部の側面図、(B)は足裏の平面図である。

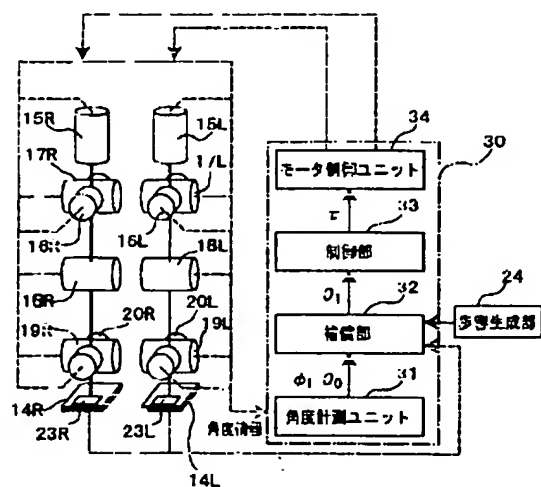
【図10】図9の変形例における足先部で着地した場合の、(A)は足部の側面図、(B)は足裏の平面図である。

【図11】図3(C)の三軸力センサの配置の第四の変形例を示す足裏の平面図である。

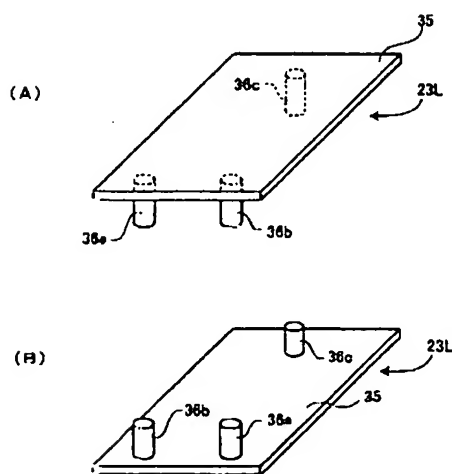
#### 【符号の説明】

- 10 二脚歩行式ロボット
- 11 本体
- 12 L, 12 R 膝部
- 13 L, 13 R 脚部
- 14 L, 14 R 足部
- 14 La, 14 Ra 足元部
- 14 Lb, 14 Rb 足先部
- 15 L, 15 R乃至20 L, 20 R 関節部(関節駆動用モータ)
- 21 L, 21 R 大腿部
- 22 L, 22 R 下腿部
- 23 L, 23 R 力検出部
- 24 歩容生成部
- 30 歩行制御装置
- 31 角度計測ユニット
- 32 補償部
- 33 制御部
- 34 モータ制御ユニット
- 35 足裏板
- 36 a乃至36 i 三軸力センサ

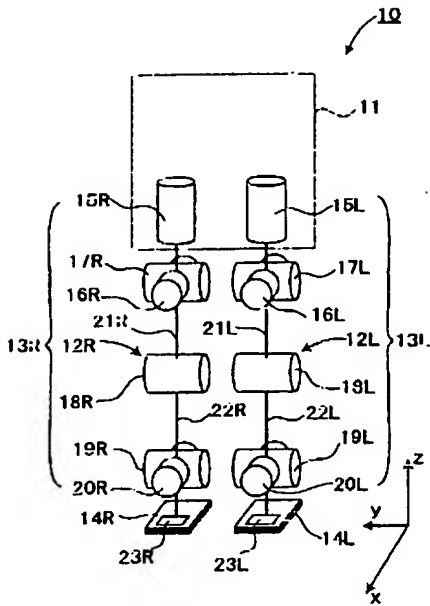
【図2】



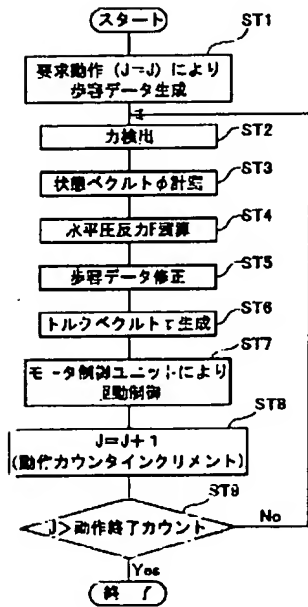
【図3】



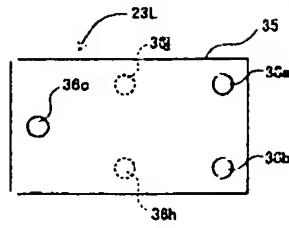
【図1】



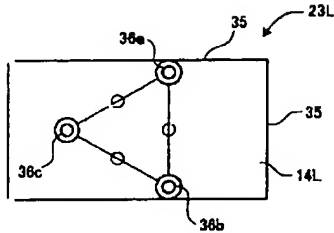
【図6】



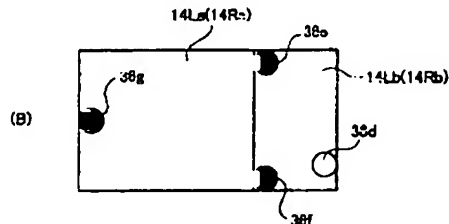
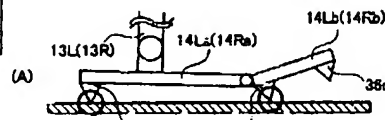
【図4】



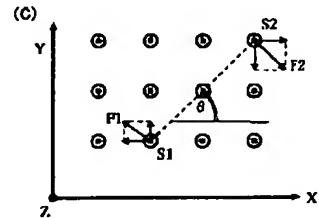
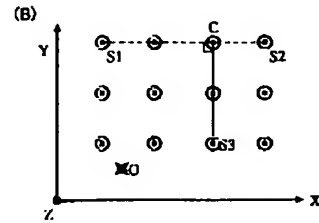
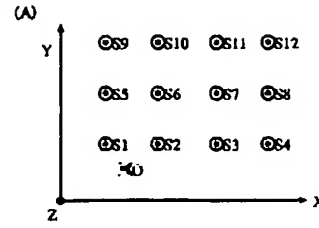
【図7】



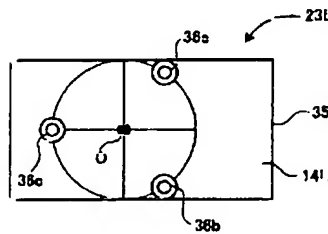
【図9】



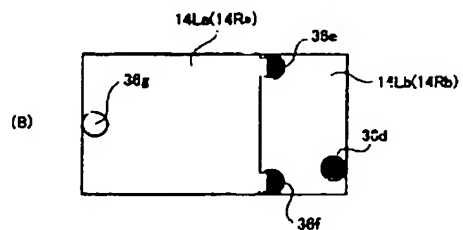
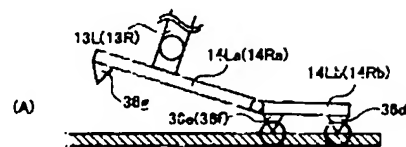
【図5】



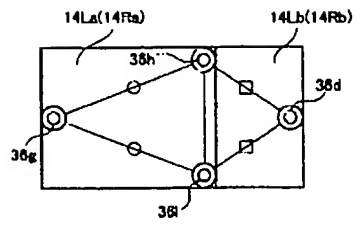
【図8】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 北野 宏明  
埼玉県川越市西小仙波町2-18-3

Fターム(参考) 3C007 AS36 CS08 KS34 KX12 LV20  
WA03 WA13 WA24 WB07 WC23